

# Un model de perfil de la platja

**Carles Garau i Sagristà**

DOCTOR ENGINYER DE CAMINS, CANALS I PORTS

## 1. Introducció

Els avenços de l'Enginyeria de Costes en el coneixement dels mecanismes que operen i que interrelacionen les accions del mar i la resposta de la formació sedimentària, tant en la forma del perfil com en la seva composició granulomètrica, són realment importants. La descripció de l'ona real sota els seus aspectes estadístic i espectral, és cada vegada més afínada i els models matemàtics més perfeccionats. El comportament de les platges però, és tan complex que encara avui no hi ha qui hagi aconseguit una descripció correcta de les relacions que lliguen: mida de la sorra —clima marítim— pendents d'equilibri.

Al meu parer, tres són les raons de la falta d'ajustament entre la teoria i la realitat, imputables a un enfocament inadequat de tres efectes o mecanismes fonamentals:

**a)** El mecanisme regulador de l'onada residual màxima que pot reflectir-se sobre la sorra de la platja.

**b)** L'efecte regulador dels fons frontals indeformables i del coeficient d'abrigament.

**c)** La importància fonamental de les sobre-elevacions en la deformació de la zona propera a la reflexió, coneguda per perfil de esglaó o en barra.

El primer d'aquests mecanismes és pràcticament ignorat, malgrat haver-lo ja exposat l'any 1974 (R.O.P. p. 869 a 882). El segon és ben conegut, però és irreproducible al laboratori perquè la profunditat del tanc i les dimensions del model necessari per a abastar tota la zona que influeix sobre el clima real fins a determinar-hi les característiques de les onades incidents sobre la platja activa, són inadmis-

sibles. En el laboratori se suposa que aquests efectes són coneguts (refracció, difracció, pre-ruptura, soldadura, filtrat,...) i que es limiten a condicionar l'onatge incident, el qual se suposa reproduït bidimensionalment en el model. El tercer presenta la dificultat contrària: és enormement difícil d'apreciar-lo i de quantificar-lo a la natura, ja que generalment les variacions periòdiques de nivell (marees) són d'un ordre superior a les de tipus esporàdic i en qualsevol cas se li superposen; i allà on tot això no passa, el fenomen té tan poca importància que se'n escapoleix amagat pels moviments de la massa sedimentària. La importància de l'efecte de sobre-elevació, respecte a les variacions del perfil en esglaó o en barra, ha adquirit recentment un gran relleu en les investigacions holandeses: Kriebel i Dean, C.N. set 1985; Van de Graaf, C.E. febr. 1986.

Entre els problemes que presenta la relació laboratori-realitat, en l'àmbit de l'Enginyeria de Costes, hi destaca la irreductibilitat del clima real als onatges de laboratori. S'hi produeixen estats del mar cada vegada més complexos i similars als reals, però el règim anual o hiperanual d'aquests estats que determinen el clima marítim no poden ser reproduïts d'una manera eficient. Podem dir que la complexació més intrínca de laboratori queda ben lluny de la realitat espàcio-temporal dels processos litorals.

També passa que els problemes més importants de l'Enginyeria de Costes es presenten en els litorals que es troben sotmesos a unes situacions més complicades, on l'observació i l'anàlisi de la natura resulten més difícils d'abordar. Les costes mediterrànies ens forneixen d'una oportunitat excepcional per diversos motius, entre els quals destaquen: **a)** un nivell mit-

jà del mar, que té escassa variació per l'absència de marees i pel clima moderat; **b)** una gran diversitat de formacions sedimentàries i de miniclimas marítims que són determinats pel diferent *fetch* geogràfic; **c)** una perspectiva històrica dels processos litorals que comprèn fins els inicis de la civilització. Així doncs, no ens ha d'estranyar que l'experiència sobre les platges de Catalunya i de les illes Balears ens pugui emmenar a una visió que ens clarifica la naturalesa i el comportament de les formacions sedimentàries.

## 2. El perfil esquemàtic general

Com a fruit més recent d'aquesta experiència, representem a la figura 1 un model de perfil general de la platja. Servint-nos-en podem determinar el perfil mitjà d'una platja mediterrània, o d'aquells mars de característiques similars, partint de quatre dades principals: 1. La grandària de la sorra, suposant-hi una distribució típica de platja de material homogeni, i, per tant, que ens és representable pel seu diàmetre mig ( $D_{50}$ ); 2. el pendent de la plataforma de suport ( $m_p$ ); 3. el coeficient d'abrigament ( $K_a$ ) o relació entre l'altura d'onada incident ( $H_d$ ) i la de mar endins ( $H_o$ ) per als onatges màxims; 4. el període característic  $T_s$  dels onatges màxims, determinat per les falques del *fetch* geogràfic segons l'expressió d'Iribarren ( $T=4,456 \cdot F^{1/6}$ ).

Pot estranyar-nos l'ús de la simplificació determinística del clima marítim, però convé que no oblidem que  $T_s$  representa el conjunt de les accions del mar i no pas d'una sola en concret. Probablement en el futur l'hàgim de substituir pel període corresponent a l'energia màxima, quan el coneixement experimental derivat d'una xarxa extensa de registre de l'onat-



ge ens ho permeti (i llavors caldrà reajustar els coeficients de les formulacions de la figura 1), però ara per ara la xarxa de dades és incipient, si més no pel que fa als processos litorals.

El model de perfil proposat és d'una gran simplicitat, perquè el constitueixen tres crestes:

El tram RN, horitzontal a la cota  $+h_0$ , correspon a la berma d'una platja progradada i seria la superfície que oferiria un delta si no estigués recobert de dunes (acció eòlica) o de fangs fluvials (*top sets*). Pot passar que en moltes platges no n'hi hagi, però conceptualment és important.

El tram NP amb pendent màxim  $tg\delta$  correspon al front de platja sotmès al fenomen de la reflexió i s'estén des del límit o el marge de la berma, cota  $+h_0$ , fins a la profunditat del punt P de cota  $-(h_0 - 2\eta)$ . La sobrelevació ( $\eta$ ) del nivell mitjà del mar és considerat, tal com ja veurem més endavant,

com una característica del perfil mitjà, que depèn essencialment de les dimensions del sediment i també del clima marítim.

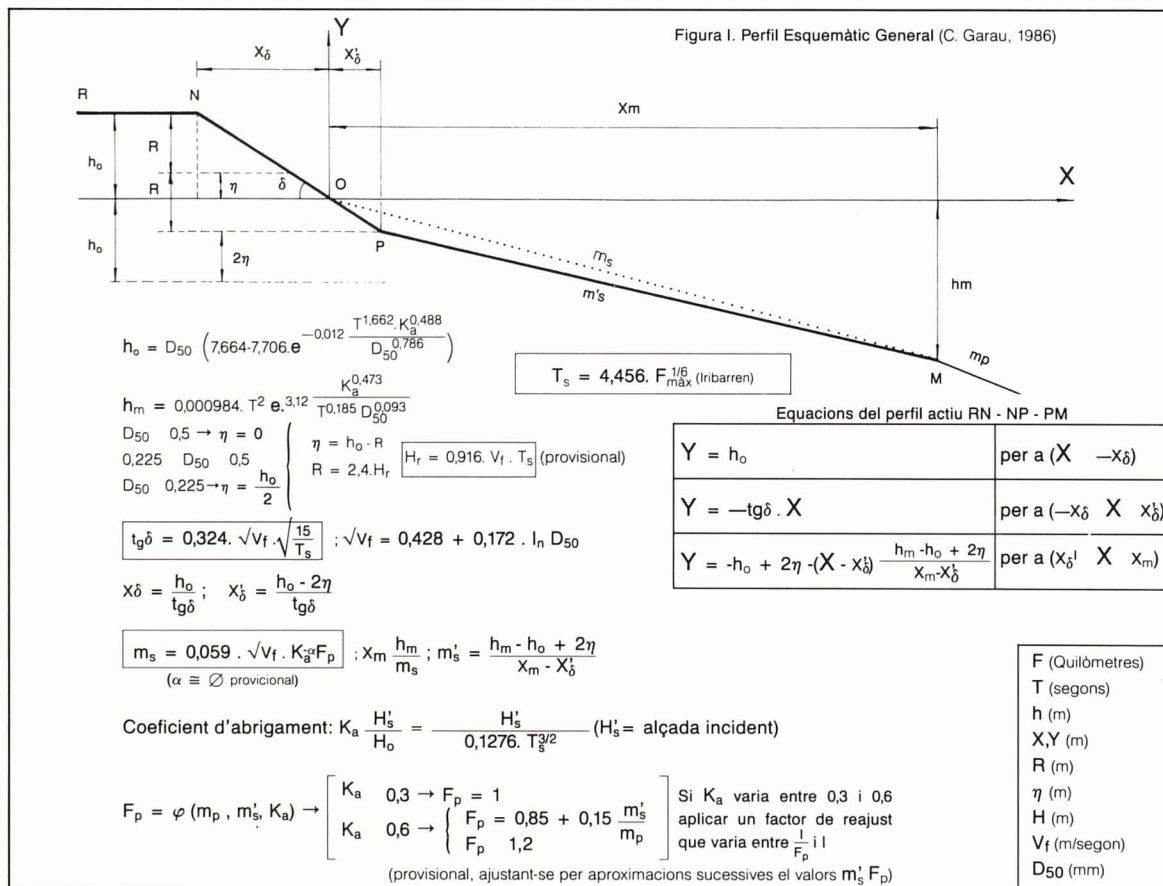
El tram PM amb pendents  $m'_s$  correspon a la platja activa sotmesa al procés de ruptura de l'onatge. S'estén, a les formacions de perfil complet, fins a la profunditat del límit de transport significatiu ( $h_m$ ).

A les platges de perfil incomplet, el tram PM quedarà restringit per la seva intersecció amb el perfil de la plataforma de suport. A les platges de perfil complet, el pendent del peu de la platja ( $m_p$ ) es comporta també com a indeformable per les accions frontals dels onatges. En un front deltaic, el pendent hi haurà estat determinat pel procés històric de la progradació amb el nivell actual del mar, mentre que a les formacions construïdes com a etapa final de la transgressió flandriana (la major part dels cordons litorals), hauran estat determinants els processos litorals de-

senvolupats durant l'ascens del nivell relatiu del mar, que va finalitzar fa uns 2.500 anys.

En el model, les variacions de pendent, que poden ser imputades als efectes de la topografia propera sobre els temporals, provinents bé de la reordenació, fusió i filtrat de l'onatge en recórrer els fons indeformables  $m_p$ , o bé l'abrigament, la refracció i la difracció per obstacles, poc o molt propers,  $K_a$ , són qualitativament i quantitativament diferents que les modificacions qualificades com esglaó-barra. Aquestes, tal com veurem més endavant, poden ser examinades com el simple efecte de la sobrelevació eventual, inclosa la causada per la ruptura dels onatges, i han de ser considerades com a basculaments reversibles del perfil mitjà, mentre que els factors  $m_p$  i  $K_a$  determinen la relació clima-perfil mitjà.

El model de la figura 1 representa un perfeccionament del que fou proposat l'any 1984 (C. Garau,





R.O.P. pàg. 954 i 959, fig. 5 i 7) amb la introducció de l'efecte de sobreelevació ( $\eta$ ). El perfil d'aquella figura 5 pretenia de representar platges obertes i de sorra fina, i el de la figura 7, platges abrigades, de sorra grossa i arrepenjades en plataformes suaus ( $m_p$   $m'_s$ ) utilitzant en tots dos casos el pendent auxiliar  $m_o$ . El perfil d'aquesta figura 1 comprèn i unifica tots dos tipus de platja i permet, a més a més, un més bon ajustament per al cas de les mides intermèdies ( $0,225 < D_{50} < 0,5$  mm), que són molt comuns a la naturalesa, per tal com permet de prescindir del pendent auxiliar  $m_o$ , en haver-hi aconseguit una estimació del valor de  $\eta$ . El gràfic representa el perfil i totes les variables i paràmetres que fan falta per a definir els tres

trams rectes que configuren l'esquema de la platja activa. El valor de  $\eta$ , l'exponent ( $\alpha$ ) de  $K_a$  i el valor de  $F_p$  hi són indicats com a «provisionals» a causa de l'escassetat de dades disponibles. Qualitativament és important de tenir en compte que, quan l'abrigament és gran ( $K_a < 0,3$  segons unes quantes platges analitzades a Mallorca i a Menorca), l'efecte tridimensional d' $F_p$  queda ja inclòs en  $K_a$ , i s'ha de prendre  $F_p=1$  (Vegeu 4,2, h).

La sobreelevació ( $\eta$ ) correspon d'interpretar-la com una característica típica de cada platja que depèn de la mida de la sorra i del clima marítim representats per  $T_s$  i  $H'_s$ . L'ajust provisional del valor de  $\eta$  s'aconsegueix aplicant el càlcul

del remuntant (R) (runup) del Shore Protection Manual a l'onada residual ( $H_r=0,916$ , V, T) i restant-lo de la cota de la berma  $h_o$ . Així obtenim l'expressió aproximada:

$$\begin{aligned} \eta &= 0 \dots\dots\dots \text{per a } 0,5 < D_{50} \\ \eta &= h_o - R = h_o - 2,4 \cdot H_r \dots\dots\dots \\ &\quad \text{per a } 0,225 < D_{50} < 0,5 \\ \eta &= h_o/2 \rightarrow (m_s \approx m'_s \dots\dots\dots) \\ &\quad \text{per a } D_{50} < 0,225 \end{aligned}$$

En la taula 1 hi ha indicat els càlculs realitzats per obtenir aquest valor de  $\eta$  en la hipòtesi  $T_s=12$  s,  $H'_s=5$  m. Les taules 2 i 3 ens els repeteixen per als valors  $T_s=7$  s,  $H'_s=1,5$  m i  $T_s=7$  s,  $H'_s=3$  m, i podem veure-hi que amb una aproximació força bona es compleix la relació  $R=2,4 \cdot H_r$  per a les mides de sorra indicades abans.

**Taula 1**  $T_s=12$  s.;  $H'_s=5$  m.

$D_{50}$ (mm)	$V_f$ (m/s)	$H_r$ (m)	$H_r/gr_s^2$	$tg\delta'$	cot 0	$ds/H_r$	R (m)	$h_o$ (m)	$\eta$ (m)
2	0,299	3,29	0,00233	0,273	3,66	1,5	8,22	5,14	—
1	0,183	2,01	0,00143	0,214	4,68	1,84	5,20	3,90	—
0,5	0,095	1,05	0,00074	0,154	6,48	2,38	2,41	2,71	0,3
0,43	0,080	0,88	0,00062	0,141	7,08	2,58	2,02	2,47	0,45
0,35	0,061	0,673	0,00048	0,123	8,09	2,91	1,58	2,16	0,58
0,30	0,049	0,536	0,00038	0,110	9,06	3,22	1,28	1,93	0,64
0,25	0,0359	0,395	0,00028	0,095	10,56	3,77	0,95	1,69	0,74
0,225	0,029	0,323	0,00023	0,086	11,68	4,17	0,78	1,55	0,77
0,21	0,025	0,280	0,00020	0,080	12,54	4,53	0,67	1,47	0,80
0,20	0,02285	0,251	0,00018	0,0755	13,24	4,78	0,60	1,41	0,81

**Taula 2**  $T_s=17$  s.;  $H'_s=1,5$  m.

2	0,299	1,92	0,00399	0,358	2,80	0,99	4,51	1,90	—
1	0,183	1,17	0,00244	0,279	3,58	1,37	2,86	1,60	—
0,5	0,095	0,61	0,00127	0,202	4,96	2,11	1,53	1,29	—
0,43	0,080	0,51	0,00107	0,184	5,43	2,39	1,28	1,22	0
0,35	0,061	0,39	0,00081	0,161	6,21	2,90	0,97	1,13	0,16
0,30	0,049	0,31	0,00065	0,144	6,96	3,42	0,76	1,06	0,30
0,25	0,0359	0,23	0,00048	0,124	8,08	4,22	0,54	0,97	0,43
0,225	0,029	0,19	0,00039	0,112	8,89	4,89	0,44	0,93	0,49
0,21	0,025	0,16	0,00033	0,103	9,69	5,63	0,36	0,90	0,54
0,20	0,02285	0,15	0,00031	0,100	10,01	5,87	0,33	0,88	0,55

**Taula 3**  $T_s=12$  s.;  $H'_s=3$  m.

2	0,299	1,92	0,00399	0,358	2,80	1,38	4,51	2,64	—
1	0,183	1,17	0,00244	0,279	3,58	1,85	2,86	2,16	—
0,5	0,095	0,61	0,00127	0,202	4,96	2,75	1,53	1,68	0,15
0,43	0,080	0,51	0,00107	0,184	5,43	3,10	1,28	1,58	0,30
0,35	0,061	0,39	0,00081	0,161	6,21	3,69	0,97	1,44	0,47
0,30	0,049	0,31	0,00065	0,144	6,96	4,29	0,76	1,33	0,57
0,25	0,0359	0,23	0,00048	0,124	8,08	5,26	0,54	1,21	0,67
0,225	0,029	0,19	0,00039	0,112	8,89	6,00	0,44	1,14	0,70
0,21	0,025	0,16	0,00033	0,103	9,69	6,88	0,36	1,10	0,74
0,20	0,02285	0,15	0,00031	0,100	10,01	7,13	0,33	1,07	0,74



### 3. Basculaments frontals

#### 3.1. Plantejament

Un dels temes que recentment ha centrat l'atenció de múltiples investigacions és el dels basculaments frontals. Des d'un punt de vista teòric, ja fa anys que tothom té en compte el procés de reajustament del perfil a diferents situacions, com ara el perfil en ESGLAÓ o perfil en BARRA.

El quadre següent indica les relacions que són admeses generalment entre els diferents tipus d'acció (onatge, clima) i de resposta (tipicitat del procés, tipicitat de perfil).

Tradicionalment, aquest procés ha estat atribuït fonamentalment a les diferències de capalçament de l'onatge (H/L), però recentment hi ha qui ha cridat l'atenció sobre la importància de la sobreelevació. Així, Kriebel i Dean, 1985, afirmen:

«L'efecte de la sobreelevació induïda per l'onatge durant el temporal sobre la recessió de la berma (o de l'erosió volumètrica) és molt més grossa que la de l'altura de l'onada durant els primers estadis de resposta, els quals corresponen a les durades típiques dels temporals».

Van de Graaf, 1986, estableix, encara amb més èmfasi, la taula següent sobre la contribució dels diferents paràmetres en la variació resultant d'una situació de temporal.

PARÀMETRE	CONTRIBUCIÓ (%)
Increment de nivell	82,8
Altura d'onada	0,9
Mida de les partícules	7,3
Perfil inicial	1,3
Durada de la situació	0,6
Puntes de sobrevent	0,0
Ajust del càlcul	5,0

I tot seguit manifesta:

...«a causa de la relació que existeix entre la sobreelevació màxima i l'altura d'ona significant, el valor

de 0,9% de la taula només representa l'efecte de  $\sigma H_s = 0,6$  m. (Si  $\sigma H_s$  igualés a 0, obtindríem una contribució del 0%!)

El signe d'admiració és de l'autor, i no pas meu, el qual fa referència a l'anàlisi probabilística dels diferents paràmetres, en la qual es determina la desviació estàndard respecte al valor mitjà i s'obté el valor de 0,6 m per l'altura d'onada, sigui quin sigui el valor de la sobreelevació. La seva admiració es produeix quan veu que la hipòtesi de  $\sigma = 0$  implica una contribució nulla de l'altura de l'onada.

#### 3.2. Comprovació del model

##### C. Garau

Aquest resultat obtingut per Kriebel i Dean i que sorprèn a Van de Graaf, és absolutament coherent amb el model de la figura 1. La figura 2 representa el resultat d'una sobreelevació excepcional i cal destacar-hi que:

a) L'increment de sobreelevació ( $\Delta\eta$ ) implica una modificació dels trams RN i NP de la figura 1, que a la llarga (hipòtesi de sobreelevació indefinida i no eventual) conduiria a un perfil idèntic al primitiu, amb el tram superior desplaçat sobre la recta PM de pendent  $m_s$ . D'aquesta manera, el retrocés potencial a llarg termini seria:

$$P'Q = \frac{\Delta r}{m_s} - \frac{\Delta r}{\tan \delta}$$

b) Perquè això fos possible, caldria que tota la sorra del paral.lelogram N" N Q P fos desplaçada, ja cap l'extradós de la platja o bé al mar endins. Això significa un llarg procés de reajustament, amb la intervenció de més mecanismes com poden ésser el transport eòlic i el transport longitudinal, que s'escapen de la simplificació bidimensional.

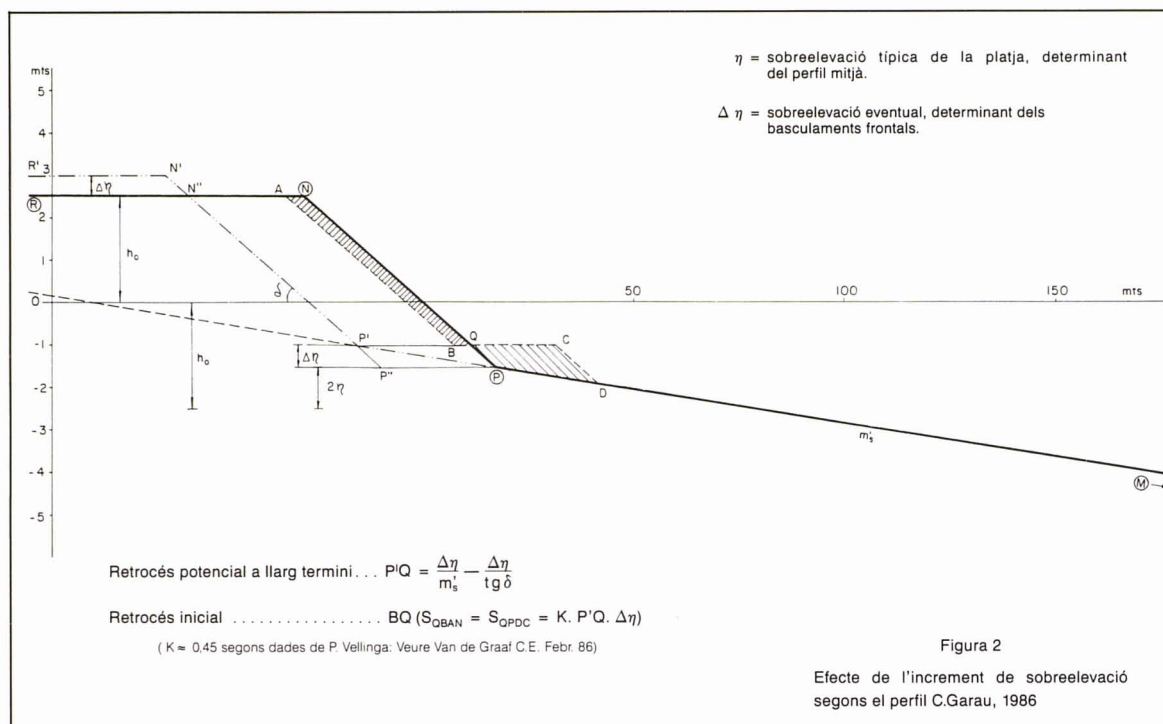
c) Hi ha d'haver però, una resposta immediata a l'acció frontal, ja que l'increment de sobreelevació implica que l'onada residual que arriba a la riba sigui superior a l'admissible [ $H_r(x) > H_{r_{\max}}(D_{50}, T)$ ] i això produeix una modificació de l'entorn de la riba, de manera que la sorra del paral.lelogram de retrocés QBAN es diposita formant la barra QPDC i en resulta un retrocés inicial BQ relativament ràpid, com ho són tots els relacionats amb l'entorn de la riba.

d) Cal adonar-se que l'increment d'altura de l'onada, si no anés acompanyat d'un increment de la sobreelevació normal, només produiria modificacions a la zona de ruptura, el temps de relaxació de la qual és molt llarg respecte al que correspon al reajustament de l'entorn del baterell del mar. El procés de ruptura absorbeix l'increment d'altura de l'onada, de manera que  $H_r$  amb prou feines es modifica a curt termini (fins que no s'hagin produït els reajustaments del perfil a la zona de ruptura).

e) Els raonaments anteriors (c) i (d) confirmen la idea d'un retrocés inicial ràpid a conseqüència de la sobreelevació, que atenyirà el límit BQ mentre els efectes de modificació de la zona D M no es facin sensibles. Concorda amb el que Kriebel i Dean, 1985, suggereixen quan parlen dels «primers estadis de resposta».

f) Si admetem que l'àrea SQPDC ha de guardar una relació constant amb l'àrea SQPP'P', que és el paral.lelogram definit per  $\Delta\eta$  com a altura i el retrocés potencial P'Q com a base, podem contrastar el valor de la constant K partint de les dades de Van de Graaf, 1986, presos de P. Vellinga, segons els quals

Tipus d'onatge	Tipus de clima	Tipus de procés	Tipus de perfil
SWELL SEA	ESTIU HIVERN	ACCESSIÓ EROSIÓ	ESGLAÓ BARRA
ACCIÓ		RESPOSTA	



el retrocés  $BQ=AN$ , per a  $\Delta\eta=5,25$  m, i una altura de dunes de  $h'_0=15$  metres, adquireix els valors de la 2a. columna del quadre següent per a diàmetres diferents:

La segona columna, tal com dèiem, correspon a les dades de retrocessos de Van de Graaf-P. Vellinga; la columna 3a. ens dóna l'erosió corresponent per a  $h'_0=15$  m; les columnes 4a. i 5a. corresponen a l'aplicació del model de la figura 1 a les platges holandeses a les quals hi ha admès que  $F_p=1,15$  a causa de la suavitat de la plataforma i que  $T=15$  seg;  $H=7,6$  m;  $k_a=1$ ; la columna 6a. ens dóna el valor de  $P'Q$  per a  $\Delta\eta=5,25$  segons el que ha estat dit en (a); la columna 7a. ens dóna la superfície del paral.lelogram SQPP"P"; finalment la columna 8a. ens dóna el valor de  $K$  com a relació entre les dades de les columnes 3a. i 4a.

Per tot plegat pervenim a la conclusió que les dades de Van de Graaf-P. Vellinga suggereixen la confirmació de la hipòtesi sobre la constància de  $K$  i arribem a l'estimació de  $K=0,45$ .

### 3.3. Conclusió

Tot el que ha estat exposat anteriorment es pot interpretar de diverses maneres:

a) El model de perfil esquemàtic general confirma els resultats de Kriebel i Dean, P. Vellinga i Van de Graaf, que fan ressaltar la transcendència de la sobreelevació. El canvi brusc i fort de pendent entre les zones de ruptura i de reflexió del model, explica el procés a la llum de la figura 2.

b) El resultats de Kriebel i Dean, P. Vellinga i Van de Graaf confirmen la bondat del model C. Garau.

c) Establert el factor  $K$ , la figura 2 i el quadre poden ser fets servir de forma inversa, determinant per uns altres valors de  $\Delta\eta$ ,  $D_{50}$ ,  $F_p$ ,  $K_a$ , els retrocessos possibles.

d) És important distingir el concepte de sobreelevació típica  $\eta$ , corresponent al perfil mitjà, del concepte eventual de sobreelevació  $\Delta\eta$  ( $\Delta\eta$  correspon al concepte anglosaxó de *storm surge*), el qual determinarà els basculaments frontals eventuals o estacionals.

$D_{50}$ (mm)	Retrocés (m)	Secció erosionada	$m'_s$	$\tan \delta$	$P'Q$ (m)	$P'Q \times \Delta \eta$ (m <sup>2</sup> )	$K$
0,175	73,0	1.095,0	0,0087	0,0415	476,9	2.503,7	0,437
0,225	57,5	862,5	0,0116	0,056	358,8	1.883,7	0,458
0,275	48,5	727,5	0,0136	0,067	307,9	1.616,5	0,450



## 4. Comentaris

### 4.1. Valoració del basculament frontal en un tram de la platja del delta del Llobregat

Ara aplicarem el que hem dit a l'apartat 3,3,c al cas concret de les platges del delta del Llobregat. En primer lloc, tenim el següent perfil per a  $T_s = 12$  s,  $H_s = 5,98$  m,  $F_p = 1$ ,  $K_a = 1$ :

Si ara tenim en compte que les variacions  $\Delta\eta$  que poden produir els basculaments frontals en el Mediterrani són fonamentalment les determinades per les situa-

cions extremes de pressió atmosfèrica, que poden oscil·lar entre  $+0,45$  m i  $-0,25$  m, entrem amb diversos valors de  $\Delta\eta$  i obtenim el quadre següent:

$D_{50}$ (mm)	$h_o$ (m)	$\eta$ (m)	$h_m$ (m)	$\text{tg}\delta$	$m_s$	$m'_s$	$x\delta$ (m)	$x'\delta$ (m)	$X_m$ (m)
0,264	1,77	0,73	13,2	0,072	0,01174	0,0115	24,6	4,4	1.126,0

$D_{50}$ (mm)	$\Delta n$ (m)	P'Q (m)	P'Q $\times \Delta n$ (m <sup>2</sup> )	K	$h'_o$ (m)	Bascament relatiu màx. (m)
0,264	0,7	50,3	35,2	0,45	2,16	7,7
0,264	0,6	43,1	25,9	0,45	2,16	5,7
0,264	0,5	35,9	18,0	0,45	2,16	3,9
0,264	0,4	28,7	11,5	0,45	2,16	2,5
0,264	0,3	21,5	6,5	0,45	2,16	1,4
0,264	0,2	14,4	2,9	0,45	2,16	0,6
0,264	0,1	7,2	0,7	0,45	2,16	0,2

$$(h_o = 2 h_o - 2\eta); \quad \Delta x = \left( \frac{1}{m'_s} - \frac{1}{\text{tg}\delta} \right) \cdot \frac{0,45}{h'_o} \cdot (\Delta\eta)^2$$

Segons una anàlisi recent de dades d'evolució de la platja de Castelldefels, el basculament relatiu entre les posicions més avançades i més endarrerides, que es poden atribuir a l'efecte frontal reversible, és inferior als 8 m. Veiem doncs que els basculaments frontals ( $\Delta x$ ) de les platges del delta del Llobregat poden ser explicats fàcilment per les variacions de nivell, i que aquestes es limiten a uns 0,7 metres, valor que inclou els canvis de pressió i les diferències d'entumiment del temporal.

### 4.2. Descripció intuïtiva de la naturalesa

El model descrit pretén de ser una descripció correcta, encara que simplificada, de la natura. És el fruit d'una llarga i pacient observació de les platges, il·lustrada per una lectura continuada dels resultats de la investigació de laboratori i de la descripció teòrica i matemà-

tica dels mecanismes de interacció entre l'onatge i les sorres litorals.

El resultat final és molt simple si el comparem amb l'enorme complexitat del tema, i a més a més, permet una visió intuïtiva de la importància relativa dels diferents paràmetres. A tall d'exemple, assenyallem les següents valoracions qualitatives:

**a)** El pendent de la zona de ruptura ( $m'_s$ ) depèn fonamentalment de les dimensions del sediment, a través de la seva velocitat de caiguda ( $V_f$ ). En segon lloc, hi intervé l'efecte de regularització de l'onatge en recórrer la plataforma de suport ( $F_p$ ) i l'abrigament, la refracció i la difracció en els obstacles propers ( $K_a$ ).

**b)** El pendent de la zona de reflexió ( $\text{tg}\delta$ ) depèn fonamentalment de la mida del sediment i és governat pel talús intermedi entre la ruptu-

ra i la reflexió (Irribarren) de l'onada residual ( $H_r$ ). Per això depèn en segon lloc del període ( $T_s$ ).

**c)** La diferència entre  $m_s$  i  $m'_s$  («concavitat») és determinada per la profunditat del punt P, que depèn de  $h_o$  i de la sobrelevació típica ( $\eta$ ). Com més grosses siguin les dimensions del sediment, més gran serà la profunditat del punt P i més petita la d'M, i per tant, més gran serà la «concavitat» del perfil. Igualment, la reducció de  $h_m$ , i la consegüent més gran concavitat, també es relaciona en gran mesura amb un abrigament més gran (disminució de  $K_a$ ).

**d)** Adonem-nos que l'anterior afirmació implica una discontinuïtat del model físic, irreproducible en el laboratori, o almenys mai no reproduïda intencionadament fins ara.

**e)** La profunditat de L, T, S, ( $h_m$ ) depèn essencialment del període (si més no per a  $D_{50} = 6$  mm) i en



segon terme depèn del coeficient d'abrigament. La influència de la dimensió del sediment és petita.

**f)** La cota de la berma ( $h_o$ ) depèn essencialment de la mida del sediment. En segon lloc, depèn del període, i també del coeficient d'abrigament. Aquest darrer, relacionat, és clar, amb l'altura de l'onada d'abordatge, influeix a causa de la sobrelevació induïda per la seva ruptura.

**g)** Malgrat que el clima marítim ens és definit per dues variables,  $T_s$  i  $H_s$ , el procés de generació de l'onatge implica una certa relació entre totes dues. En el model, partim de la hipòtesi que aquesta relació és la d'Iribarren, en què el factor  $K_a$  és una mesura de la desviació del clima concret respecte la dita hipòtesi. És a dir, aquí  $K_a$  recull els efectes de difracció i de refracció i també la desviació del clima marítim respecte a la relació d'Iribarren ( $H_s = 0,12776 T_s^{3/2}$ ).

**h)** El factor  $F_p$  representa els efectes reguladors (bidimensionals i tridimensionals) que la plataforma de suport ( $m_p$ ) produeix sobre el clima marítim. Val a dir que aquesta plataforma s'estén des de la profunditat  $H_m$  a la  $2 h_m$  (o bé la distància  $x_m$  a la  $2 x_m$ ) aproximadament, zona que podem anomenar de prerruptura. Aquest concepte de prerruptura es refereix, evidentment, als onatges màxims, però aquestes situacions són transcendents per a determinar el pendent típic de la zona de ruptura ( $m_s$ ). El factor  $F_p$  serà una mesura de la capacitat dels fons de prerruptura per a regular l'estat del mar i consumir puntes d'energia de l'onatge (aspecte bidimensional) i també de la seva capacitat de limitació de la component obliqua de l'onatge (aspecte tridimensional) no avaluable mitjançant  $K_a$ . Cal tenir en compte que  $K_a$  només avalua la refracció pel seu efecte reductor de l'altura d'onada. Dient-ho d'una altra manera, l'aspecte tridimensional d' $F_p$  correspon amb el fet que, a fi de mantenir la invariància de la capacitat de trans-

port longitudinal al llarg de la platja, si  $m_p$  varia, m cal que també variï en sentit contrari, també al llarg de la platja.

**i)** El model també pot ser vist com a perfil d'equilibri, suposada l'acció indefinida d'un onatge ( $H, T$ ). A tall d'exemple, podem observar que el creixement de l'altura de l'onada, respecte d'una situació prèvia d'equilibri frontal, actua en els processos immediats a la riba (de temps de relaxació ràpid) mitjançant l'increment de la sobrelevació. El creixement d' $H$  (i el consegüent augment de  $K_a$ ) produeix l'augment de  $h_o$ , mentre que la remuntada ( $R \approx 2,4, H_r \approx 2,4 \times 0,916 \times V_f, T$ ) quasi no varia i per tant  $\Delta \eta \approx \Delta h_o$ . Aquest mecanisme té importància per a  $D_{50} < 0,5$  mm, que són les mides més freqüents a les platges naturals. En aquests casos, cal tenir present la diferència entre  $\delta$  i  $\delta'$  (C. Garau, 1984).

#### 4.3. Comentari final

El model que hem descrit hauria de ser sotmès a contrast amb la naturalesa i amb el laboratori, a fi de comprovar-ne l'eficiència i reajustar-ne els coeficients de les formulacions matemàtiques, ja que n'hi ha molts d'obtinguts per mètodes indirectes. Els assaigs els podria escometre el Laboratori de Ports Ramon Iribarren i el contrast amb la realitat consistiria en un seguit d'estudis del perfil de platges mediterrànies amb característiques diferents, tan pel que fa al material sedimentari com amb referència als condicionants topogràfics que determinen els factors  $F_p$  i  $K_a$ .

Des d'aquestes pàgines em permeto de proposar-ne la realització perquè crec que això significaria un notable assoliment de l'Enginyeria de costes espanyola, d'interès mundial.

CG □

#### Notes:

(1) La complexitat dels mecanismes d'equilibri i del perfil faria molt prolixa l'aportació de les definicions dels diferents paràmetres i variables emprats, aconsellant la lectura de l'article reiteradament esmentat (R. de O. P, desembre 1984, ps. 943-960). El concepte d'altura d'ona residual es refereix generalment a una característica de la sorra en funció del període d'onatge ( $H_r = 0,916 V_f T$ ) i correspon a un valor màxim, suposada situació d'equilibri. Amb un caràcter més ampli correspon a l'altura d'ona instantània que es reflecteix a la vora, després d'haver cedit part de la seva energia en el procés de trencament sobre un determinat tram de la platja submergida.

(2) Aquest article exposa l'ajust correcte de l'expressió  $R = 2,4 H_r$ , essent  $R$  la remuntada de l'ona residual sobre el talús de reflexió a la vora. Ha estat comprovat que les dades de laboratori de Gourlay confirmen aquesta relació, ja que  $Z_c = R$  (puix que la sobrelevació a la zona de trencament dels seus assaigs és menyspreable) i, per tant, els valors  $Z_c = 0,116$  m (figura 3,2,c) i  $H_r = 0,047$  m ( $Z_c - \bar{\eta} m = 0,116 - 0,069$ ) concorden sensiblement (R. de O.P, ps. 950-951).

(3) No hem de confondre el concepte  $\bar{\eta} m$  de Gourlay amb el de sobrelevació ( $\eta$  o també  $S_b$ ). Gourlay es refereix a la remuntada del nivell mitjà pel procés de reflexió a la vora, mentre que la sobrelevació representa una variació del nivell del mar en què es produeix aquesta reflexió, respecte al nivell normal. La sobrelevació es pot referir a l'efecte induït pel trencament de l'onatge, a les variacions de pressió o a la suma de tots dos i d'altres efectes (mareja, vent...).